UNIVERSITÉ DE LAUSANNE FACULTÉ DE MÉDECINE

SERVICE D'OBSTÉTRIQUE ET DE GYNÉCOLOGIE
Directeur: Professeur W. R. MERZ

Surveillance néonatale par enregistrement continu du pH sous-cutané

THESE

préparée au Service d'Obstétrique et de Gynécologie de St-Gall (PD Dr O. Stamm) et au Service d'Obstétrique et de Gynécologie du Centre Hospitalier Universitaire Vaudois, Lausanne, Suisse, sous la direction du Professeur H. Bossart.

et

présentée à la Faculté de Médecine de l'Université de Lausanne pour l'obtention du grade de docteur en médecine

par

Paul JANECEK

Médecin diplômé de l'Université Charles IV de Prague
Originaire de Paris (France)

PRIX H.E. DE CERENVILLE 1976

1977
Lausanne
1976

BURI DRUCK AG
Eigerstrasse 71 3001 BERN

UNIVERSITÉ DE LAUSANNE FACULTÉ DE MÉDECINE

SERVICE D'OBSTÉTRIQUE ET DE GYNÉCOLOGIE
Directeur: Professeur W. R. MERZ

Surveillance néonatale par enregistrement continu du pH sous-cutané

THESE

préparée au Service d'Obstétrique et de Gynécologie
de St-Gall (PD Dr O. Stamm) et au Service d'Obstétrique
et de Gynécologie du Centre Hospitalier Universitaire Vaudois,
Lausanne, Suisse, sous la direction du Professeur H. Bossart.

et

présentée à la Faculté de Médecine de l'Université de Lausanne
pour l'obtention du grade de
docteur en médecine

par

Paul JANECEK

Médecin diplômé de l'Université Charles IV de Prague
Originaire de Paris (France)

PRIX H.E. DE CERENVILLE 1976

Lausanne
1976

BURI DRUCK AG
Eigerstrasse 71 3001 BERN

Université de Lausanne

Faculté de Médecine

Le Conseil de la faculté de médecine de l'Université de Lausanne, après avoir pris connaissance des rapports favorables de MM. les professeurs

H. BOSSART et M. DOLIVO,

et sans se prononcer sur les opinions du candidat, autorise l'impression de la thèse intitulée:

" SURVEILLANCE NEONATALE PAR ENREGISTREMENT CONTINU DU pH SOUS-CUTANE ",

présentée par Monsieur Paul JANECEK,

Médecin diplômé de l'Université Charles IV de Prague,

pour l'obtention du grade de Docteur en médecine.

Lausanne, le 23 mars 19 77

UNIV. LEIDEN BIBL.

Le Doyen:

Prof. G. Favez

A mes parents

Je leur dois tout

A ma femme

A ma fille Caroline

En mémoire du PD Dr O. Stamm, chef du service de gynécologie-obstétrique, Hôpital Cantonal, St-Gall, qui m'a permis d'entreprendre dans son service les études fondamentales qui sont à la base de cette thèse.

Au Professeur H. Bossart qui m'a fait l'honneur d'accepter la direction de cette thèse.
En témoignage de mon profond respect.

Au Professeur W.R. Merz, chef du service de gynécologie-obstétrique, CHUV, Lausanne, qui a bien voulu m'accueillir dans son service et me faire bénéficier de son enseignement.
En témoignage de ma reconnaissance.

Je remercie les sages-femmes de la Maternité de l'Hôpital Cantonal de St-Gall qui ont aidé à débuter ce travail.

Mes remerciements vont également à :

Melle Reymondin et l'équipe des soins intensifs de la salle d'accouchement, Maternité, CHUV, Lausanne,

Melle E. Ernst, secrétaire dévouée et compétente.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	page	6
MATERIEL ET METHODES	page	7
RESULTATS	page	19
DISCUSSION	page	42
RESUME	page	45
BIBLIOGRAPHIE	page	47

INTRODUCTION

Depuis les travaux de Saling (35), il est bien établi que la détection précoce des déviations de l'équilibre acido-basique et plus particulièrement de l'acidose, constitue un élément essentiel du diagnostic de souffrance foetale.

Nécessitant d'une part des prises de sang répétées au niveau de la présentation foetale et impliquant, d'autre part, des déterminations du pH in vitro, une telle méthode se trouve grêvée des désavantages suivants :

- Absence d'information dans l'intervalle séparant les divers prélèvements.
- Erreurs techniques et systématiques (32).
- Source de fatigue pour la parturiente.
- Surcharge de travail pour le personnel.

Dans le but de mesurer le pH actuel de manière continue in vivo, divers types d'électrodes ont été élaborés (13,16,17,22,41). L'utilisation de telles électrodes par voie intra-vasculaire ou intra-musculaire s'est heurtée aux difficultés suivantes :

- Instabilité des valeurs de pH mesurées.
- Artéfacts par modification des constants de diffusion de l'électrode, en raison de dépots de protéïnes et d'érythrocytes.
- Pseudo-variations du pH mesuré consécutives à l'existance de biopotentiels environnants.
- Problèmes de miniaturisation restant à résoudre en vue d'un emploi prolongé et adapté à la routine.

En dehors de ces difficultés, l'utilisation d'une telle électrode pour la surveillance continue du pH chez le foetus ou le nouveau-né rencontre une difficulté supplémentaire inhérente

au milieu dans lequel doivent être effectuées ces mesures. En effet, le tissu sous-cutané ne présente pas de vaisseaux de calibre suffisant pour permettre l'introduction d'une électrode. Par conséquent, et pour autant qu'il soit possible de placer une électrode à pH dans le tissu sous-cutané, il reste à démontrer dans quelle mesure les valeurs du pH ainsi obtenues correspondent à celles du sang capillaire. Récemment, le groupe de Stamm (36,37,38,39,27) a publié les résultats obtenus grâce à la mise au point d'une électrode suffisamment miniaturisée pour être introduite dans le milieu particulier qu'est le tissu sous-cutané du foetus et du nouveau-né, ainsi que chez l'adulte (11).

Dans cette étude, nous nous proposons de préciser dans quelle mesure l'enregistrement continu du pH sous-cutané, réalisé grâce à cette électrode dans trois groupes de nouveau-nés (normaux et pathologiques) est représentatif des variations du pH du sang capillaire.

MATERIEL ET METHODES

Comme nous l'avons déjà mentionné dans notre introduction, nous voulons prouver les valeurs déjà obtenues par notre méthode dans un collectif élargi et confirmer ainsi les valeurs de nos résultats précédents (36,37,38,39,27). Par la description précise d'un choix de cas, nous souhaiterions déterminer les valeurs normales du pH du tissu sous-cutané dans la phase d'adaptation néonatale, plus précisément pendant la première heure de vie extra-utérine.

Choix des cas.

Le premier groupe comprend un collectif de 30 nouveau-nés normaux. Nous sommes conscients du fait que la définition de normalité en périnatologie est très variable. Le seul élément décisif est le développement post-natal (5). La valeur du bilan d'Apgar (1) du nouveau-né est diversement appréciée. Il est surtout très important en tant que facteur de prévision de l'avenir du nouveau-né (14,15). Selon les données de la littérature (32,40,7,3), nous avons choisi les facteurs de "normalité" suivants :

- Accouchement spontané.
- Poids du nouveau né $\geqq$ de 2500 gr.
- Score d'Apgar 9/10/10.
- pH de la veine ombilicale $\geqq$ 7,20 et
  pH de l'artère ombilicale $\geqq$ 7,14.
- Evolution post-natale dépourvue de troubles d'adaptation.

Le matériel d'étude est constitué de 3 groupes ayant tous fait l'objet de mesures continues du pH sous-cutané et du pH capillaire du talon.

- Collectif no 1 : 30 nouveau-nés considérés comme normaux selon les critères précédemment définis.
- Collectif no 2 : 16 nouveau-nés ne répondant pas aux critères de normalité et considérés par conséquent comme pathologiques (Tabl. 1).
- Collectif no 3 : 10 nouveau-nés normaux, formant un groupe de référence étant donné que les mesures du pH continu sous-cutané et du pH capillaire ont été complétées par la détermination des autres paramètres de l'équilibre acide-base (pO_2, pCO_2, BE). Ce collectif tend à démontrer la reproductibilité de la méthode dans des conditions d'utilisation diverses de la sonde à pH et à des époques différentes.

Cas	Par.	SG	LA	PD	PE	Mode d'accouchement	Poids Long.	Apgar	Diagnostic du pédiatre	Diagnostic rétrospectif, particularités.
1	II	37	clair			sectio caesarea	3640/48	5/8/8	diabète maternel, constellation A-O, macrocéphalie, courte réanimation (masque O_2)	1 x cordon ombilical lâche
2	III	35	clair	8h05	10'	spontané	2770/48	8/8/8	membrane hyaline, ictère	
3	VII	40	clair	12h20	10'brady-cardie	Kristeller	3500/49	8/10/10	fracture clavicule, ictère	2 x cordon ombilical
4	I	40	clair	13h00	35'	Kristeller+Ventouse	3460/51	5/9/9	léger ictère	atonie utérine 1 x cordon ombilical lâche
5	II	42	vert	14h55	10'	spontané	3360/50	7/9/9	souffle systolique	
6	IV	41	clair	5h10	35'	Kristeller	2980/49	5/8/10	fracture clavicule, ictère	
7	I	41	clair	7h00	1h5'	Ventouse	3640/50	3/8/9	léger ictère	1 x cordon ombilical lâche
8	I	40	clair	7h00	25'	Kristeller	3260/50	8/9/10	ictère	1 x cordon ombilical
9	I	40	clair	8h00	25'	anesthésie péridurale Kristeller	3080/49	6/8/9	s.p.	gestose monosymptomatique 1 x cordon ombilical
10	I	39	clair	23h40	30'	anesthésie péridurale dystocie(hypercinésie) ventouse	3690/50	9/10/10	cyanose périorale	
11	I	40	verdâtre	14h	20'	Kristeller/bradycardie	2820/48	7/9/10	s.p.	1 x cordon ombilical
12	II		clair	3h	10'	Kristeller/bradycardie	3740/49	7/9/10	atrésie pulmonaire	après 2h. l'enfant a une tachypnée + cyanose, décède dans les heures qui suivent
13	II	40	vert	6h25	15'	spontané	4050/50	8/9/10	asphyxie intra-utérine, tachypnée transitoire, polyglobulie (Ht 70%)	après 10 jours, status de l'enfant s.p.
14	II	39	clair			sectio caesarea pour disprop. foeto-matern.	3510/50	8/9/10		
15	I	42	vert	13h15	5'	ventouse/Kristeller anesth.péridurale pour épuisem. maternel	3620/53	1/8/10	s.p.	
16	II	37	clair			sectio caesarea pour diabète	3610/49,5	5/8/8	s.p.	

Tabl. 1 : Nouveau-nés pathologiques : caractéristiques individuelles.

Prélèvement du sang.

a) Le prélèvement du sang capillaire sur le talon du nouveau-né à la 3e, 5e, 10e, 15e, 20e, 25e, 30e, 40e, 50e et 60e minute post-partum est effectué à l'aide d'un capillaire héparinisé. Le talon est préalablement frotté d'un coton imbibé d'éther afin de provoquer une hyperémie. On pique avec un vaccinostyl de manière à provoquer une grosse goutte de sang. Le talon se prête particulièrement bien au contrôle de l'équilibre acido-basique du nouveau-né. Les valeurs moyennes sur le talon préalablement chauffé, dans la première heure post-natale se situent à 0,027 UI pH au-dessous des valeurs obtenues soit dans l'artère ombilicale, soit dans l'artère fémorale (21).

b) Au cordon, immédiatement après la naissance, clampage du cordon ombilical sur une longueur de 10-20 cm. Pour éviter tout contact avec l'air ambiant, la cathétérisation de l'artère et de la veine ombilicales se fait à l'aide d'un capillaire héparinisé semblable à celui qu'on utilise pour la prise de sang chez le nouveau-né. En utilisant cette méthode, nous évitons une fuite importante de gaz carbonique. Dans les cas où nous avons eu un retard dans la mesure des échantillons (pas plus d'une heure), nous avons immédiatement bouché les extrémités des capillaires en verre et nous avons conservé le tout à une température de 0 à 4°.

Pour les deux premiers groupes de nouveau-nés (30 cas + 16 cas), où nous n'avons déterminé que le pH capillaire et sous-cutané, nous avons utilisé l'appareil de Saling-Turowski et le pH-mètre Radiometer. Les causes d'imprécision sont nombreuses : méthode du prélèvement, appareillage, erreur de lecture. Au total, l'erreur maximale dans la mesure du pH atteint 0,02 jusqu'à

0,027 unités de pH (8). Pour le troisième groupe (groupe de référence), composé de 10 nouveau-nés, où nous avons déterminé les autres paramètres de l'équilibre acido-basique, nous avons utilisé l'analyseur GAS-CHECK AVL-937.

Pendant toute la durée d'enregistrement, afin d'éliminer dans la plus grande mesure du possible l'effet néfaste d'hypothermie, l'enfant est immédiatement placé sur une table de réanimation de la maison Métrowa (CH-8610 Uster) munie d'un servo-contrôle de température, maintenant celle-ci entre 36,5 et 37°.

Le pH continu du tissu sous-cutané et ses aspects techniques.

Technique.

Grâce aux appareils amplificateurs, l'électrode en verre est devenue aujourd'hui la méthode de mesuration du pH la plus importante (10), permettant la construction d'électrodes robustes avec résistance de la membrane allant jusqu'à 1000 Mégohm. Une chaîne complète de mesuration du pH comprend une électrode de mensuration et une électrode de référence : souvent, les deux sont assemblées. Dans ce cas-là, il s'agit dune électrode combinée.

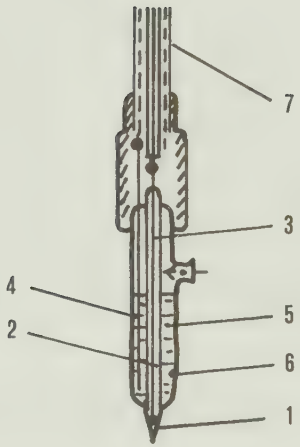

Schéma de l'électrode combinée (10).

1 - Membrane de verre sensible au pH.
2 - Electrolyte de l'électrode de référence.
3 - Electrode de référence intérieure.
4 - Système de l'électrode de référence.
5 - Electrolyte de l'électrode de référence.
6 - Diaphragme en céramique poreuse.
7 - Cable d'électrode à haut isolement.

La dérivation du potentiel se fait à l'aide d'un coaxial avec protection. La partie la plus importante de l'électrode en verre est la membrane de verre sensible au pH. La partie sensible du système de référence est le diaphragme. Tous les deux peuvent avoir différentes formes selon l'usage prévu (33). La fonction

de l'électrode de mesure, la construction des chaînes de mesure et les causes des troubles de fonctionnement de l'électrode en verre ont déjà été étudiées par plusieurs auteurs (10,19,30,31, 33), de même que leur importance dans le diagnostic en médecine (20). Ces sondes de pH en verre ont les avantages suivants (13) :

- En général, elle atteint son équilibre immédiatement, d'où la possibilité d'effectuer des mesures de pH avec une très grande rapidité.
- L'électrode en verre donne des potentiels qui ne sont pas influencés par les potentiels d'oxydo-réduction existant dans la solution.
- Elle n'a pas d'erreur due au sel ou aux protides.
- Elle peut être utilisée dans les différentes solutions de colloïde etc. et dans d'autres sortes de systèmes hétérogènes.
- Elle n'est pas influencée par les ions des éléments situés au-dessous de l'hydrogène dans la série des tensions.
- Il est relativement facile de faire des micromesures du pH.
- L'électrode en verre ne se déteriore pas d'une façon appréciable avec l'âge et son emploi est relativement facile.

Pour nos expériences, nous avons utilisé l'électrode en verre spéciale de Stamm-Möller (Fig. 1). Elle est caractérisée par une réduction optimale de la distance entre l'électrode de mesure et celle de référence (env. 1 mm). Grâce à cette proximité, il est possible d'obtenir des enregistrements stables, soustraits à l'influence des biopotentiels de la mère et de l'enfant. En utilisant une matière poreuse spéciale pour le système de référence, ceci permet une diffusion optimale du Kcl 4M + Agcl, en réduisant au minimum le danger de blocage de la membrane de référence par les protéïnes et les érythrocytes.

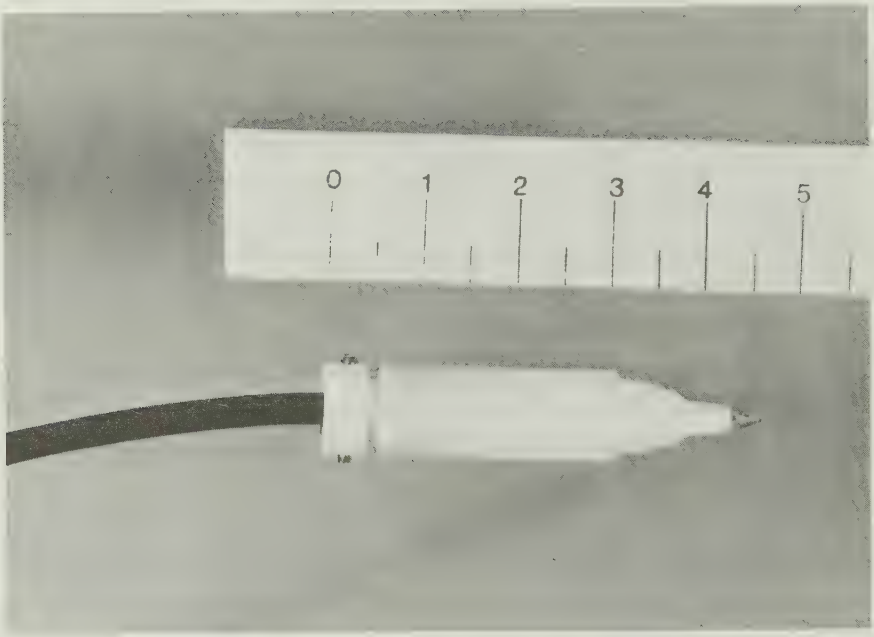

Fig. 1 : Electrode spéciale de Stamm-Möller
(grandeur originale - longueur entière en cm)

Comme appareillage de mesure, nous avons utilisé un pH-mètre numérique E-532 (Méthrom AG, Herisau) (Fig. 2).

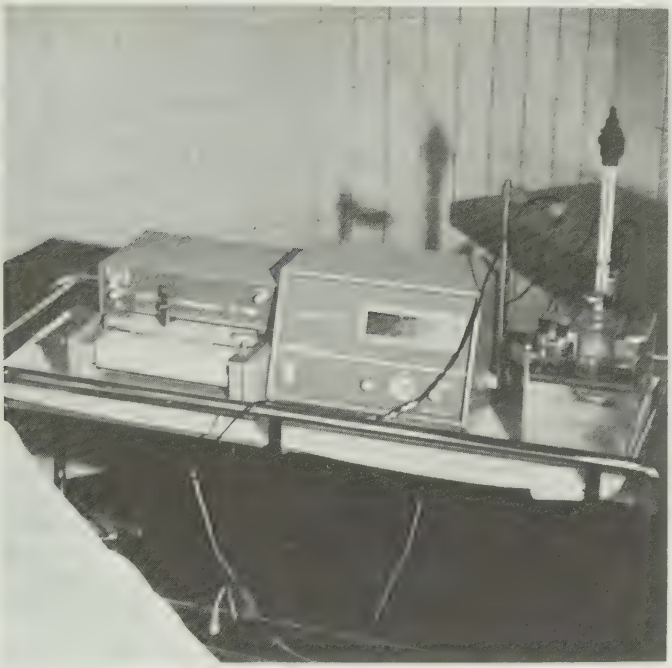

Fig. 2 : Chaîne de mesure du pH sous-cutané.
(enregistreur, pH-mètre, chauffage automatique)

C'est un appareil de routine, à amplificateur couplé directement et à semi-conducteur à effet de champ avec un convertisseur analogique-numérique et un compteur monté en cricuit intégré. Ce pH-mètre est en outre pourvu d'une sortie analogue, pour le branchement d'un enregistreur. Comme enregistreur, nous avons utilisé un Labographe E-478, de même fabrication que le pH-mètre. Il s'agit d'un enregistreur potentiométrique universel et entièrement transistorisé, conçu pour l'enregistrement des

tensions et courants continus fournis par les appareils de mesure les plus divers, tels que pH-mètre, photomètre etc. L'enregistrement se fait sur un papier diagramme pouvant se dérouler de 0,2 jusqu'à 200 mm à la minute. Pour notre étude, nous avons utilisé une vitesse de 10 mm par minute. La précision de la chaîne de mesure, spécialement de l'électrode, a été prouvée in vitro ainsi qu'in vivo. Les électrodes utilisées dans les essais cliniques ont une stabilité supérieure à 92%.

Cette stabilité a été prouvée in vivo lors d'essais prolongés : après 2 heures d'enregistrement dans le tissu, nous n'avons pu observer de déviation significative du potentiel de base de la chaîne de mesure (tabl. 2).

	Tampons de référence		
Cas	Valeurs initiales	Valeurs finales	Différence pH
1.	7,00	6,99	- 0,01
2.	7,00	7,00	-
3.	7,00	7,00	-
4.	7,00	7,01	+ 0,01
5.	7,00	7,00	-
6.	7,00	7,02	+ 0,02
7.	7,00	7,00	-
		$\bar{x}^{+}_{-}$	$0,002^{+}_{-}$ 0,008

Tabl. 2 : Test de stabilité. Les valeurs tampons avant et après 2 heures d'enregistrement dans le tissu sous-cutané.

L'avantage particulier de cette chaîne de mesure réside dans la possibilité de procéder à des enregistrements de longue durée de manière stable (Fig. 3).

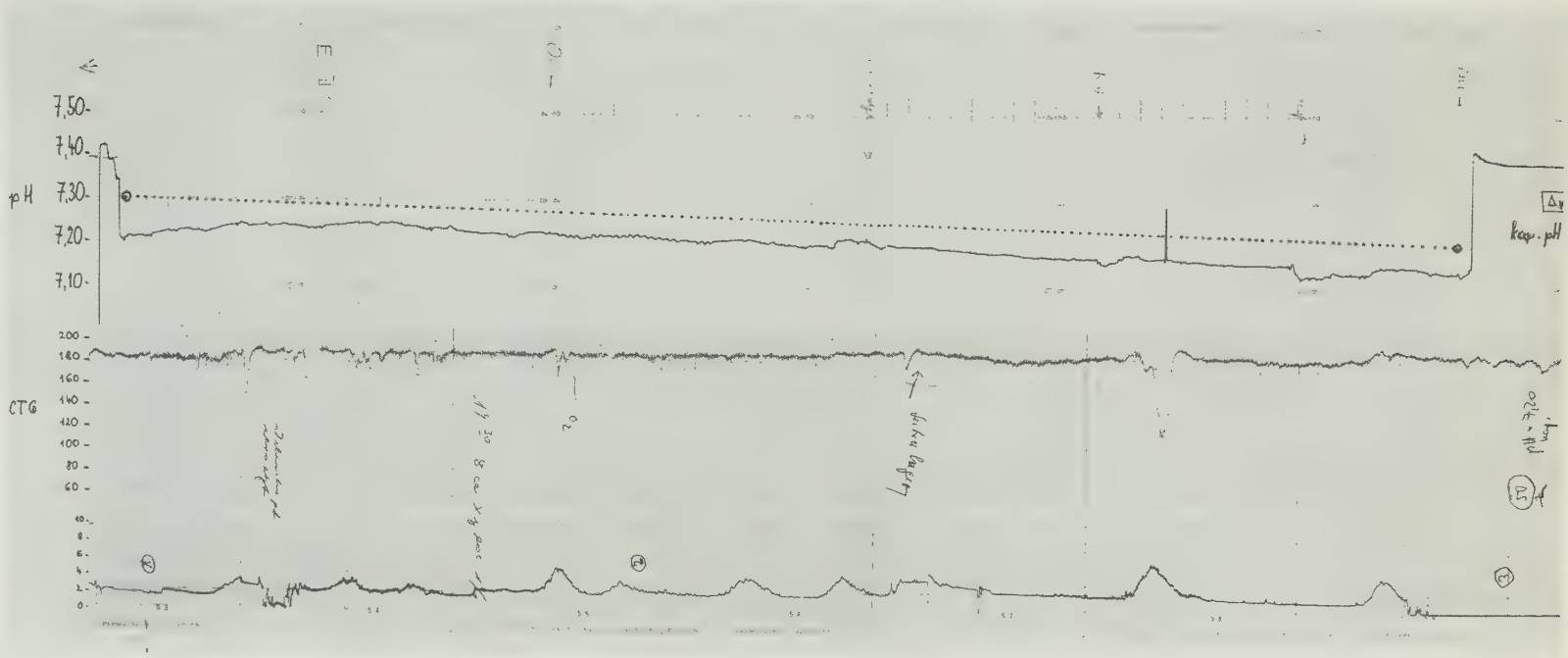

Fig. 3 : Enregistrement original du pH continu sous-cutané sub partum (ligne continue). La ligne pointillée relie les deux valeurs du pH capillaire. Enregistrement simultané de CTG (vitesse d'enregistrement 2 cm à la minute).

Sur cet enregistrement on remarque, en dépit de la régularité des contractions et malgré les mouvements de l'enfant, qu'il ne survient pas de faute d'enregistrement qui rendrait difficile l'interprêtation de la courbe. Même les changements de position de la parturiente, p.ex. sur le dos ou sur le côté, ne provoquent pas de potentiel parasite.

L'application pratique de l'électrode spéciale de Stamm-Möller.

Avant chaque utilisation, la sonde à pH est stérilisée pendant 10 minutes dans une solution de Germicide[R] et maintenue ainsi stérile dans un container en plastique contenant des tablettes de formaline. Avant chaque application clinique, l'électrode est étalonnée dans les tampons avec un pH 6,84 et 7,40. L'électrode est ensuite stabilisée dans un tampon phosphate 7,40 à une température de 37°. Afin d'éviter des troubles de la diffusion, la solution ne doit pas être agitée pendant la mesure. Les champs électriques parasites de l'instrumentation, de la parturiente et du nouveau-né sont éliminés par la mise à terre de l'appareil et du lit.

L'électrode stérile et étalonnée est alors introduite sans incision préalable et de façon tangentielle, dans le cuir chevelu jusqu'à une profondeur d'env. 2,5 mm afin que la pointe de mesure (1,8 mm) et le système de référence se trouvent entièrement dans le tissu sous-cutané. Si possible, il faut éviter d'introduire la pointe de l'électrode dans les endroits d'incision préalables, car la mesure du pH doit se faire sans contact avec l'air ambiant et dans des tissus non lésés.

[R] Concentrated RUST INHIBITING GERMICIDE

Avant la mise en place de l'électrode, nous désinfectons le cuir chevelu à l'aide d'une solution aqueuse d'oxycyanate (Bradosol^{R}) et séchons la place à l'aide de tampons. Pour introduire l'électrode sub-partu, nous disposons d'un tuyau-guide. Dès que l'électrode est appliquée, l'énregistrement du pH peut commencer. Les valeurs égales ou inférieures à 7,00, surtout lorsqu'elles sont instables, indiquent qu'une partie de la pointe se trouve encore intra-cutanée et non dans le tissu sous-cutané. Dès que l'on mesure des valeurs de pH correspondant à l'état clinique avec une stabilité d'enregistrement, on fixe l'électrode au cuir chevelu à l'aide d'une spirale ressemblant à celle utilisée pour le cardiotocographe interne. A la fin de chaque mesure, l'électrode est à nouveau étalonnée pour prouver qu'il n'y a pas eu de perte de potentiel de l'enregistrement. Ensuite, l'électrode est rincée à l'eau courante. Pour éviter à longue échéance la formation d'un film de protéïnes sur l'électrode en verre, celle-ci est régulièrement placée, toutes les 48 heures au moins, dans une solution de Pepsine-HCl prévue à cet usage. Le système de référence est contrôlé et renouvelé si nécessaire. Pour cela, on utilise une solution de KCl 3M + AgCl qui empêche une diffusion trop rapide et donne à l'électrode une stabilité remarquable. Enfin, l'électrode est restérilisée comme déjà décrit et maintenue ainsi stérile dans une boîte en plastique contenant des tables de formaline.

RESULTATS

Pour le groupe de 30 nouveau-nés, la courbe des valeurs du pH sous-cutané et capillaire a été calculée avec les valeurs moyennes et le double écart-type, Les valeurs du pH sous-cutané

sont relevées chaque minute lors de l'enregistrement horaire. La figure no 4 représente les valeurs du pH sous-cutané de la 3e à la 60e minute post-natale avec la moyenne et les champs de variabilité de 95% (X + 2S) chez ce groupe de nouveau-nés.

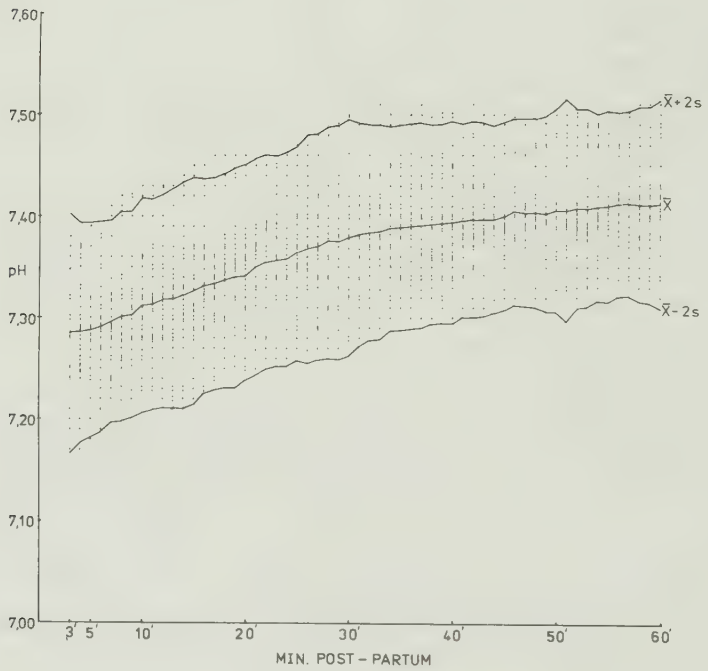

Fig. 4 : Valeurs individuelles relevées lors de l'enregistrement horaire (points) du pH sous-cutané de 30 nouveau-nés normaux de la 3e à la 60e minute, moyenne $\bar{X}$ et double déviation standard 2S.

Min. post natale	pH moyen sous-cut. $\bar{X}$	double écart type 2S	pH moyen capillaire $\bar{X}$	double écart type 2S	Différence des deux pH
3	7,28	0,06	7,21	0,10	+ 0,07
5	7,29	0,05	7,21	0,08	+ 0,08
10	7,31	0,05	7,24	0,08	+ 0,07
20	7,34	0,05	7,30	0,07	+ 0,04
30	7,38	0,06	7,35	0,07	+ 0,03
40	7,39	0,05	7,38	0,06	+ 0,01
50	7,41	0,05	7,39	0,06	+ 0,02
60	7,41	0,05	7,40	0,05	+ 0,01
3-60	7,35	0,05	7,31	0,07	+ 0,04

Tabl. 3 : pH moyen ($\bar{X}$) du tissu sous-cutané et capillaire chez le groupe de 30 nouveau-nés normaux à partir de la 3e minute post-natale jusqu'à la 60e minute.

Nous pouvons noter une augmentation rapide du pH tissulaire sous-cutané dès la 3e à la 30e minute postnatale (+0,10 UI), une augmentation relativement moins rapide de la 30e à la 60e minute (+0,03 UI). Au total, l'augmentation est de 0,13 UI pH.

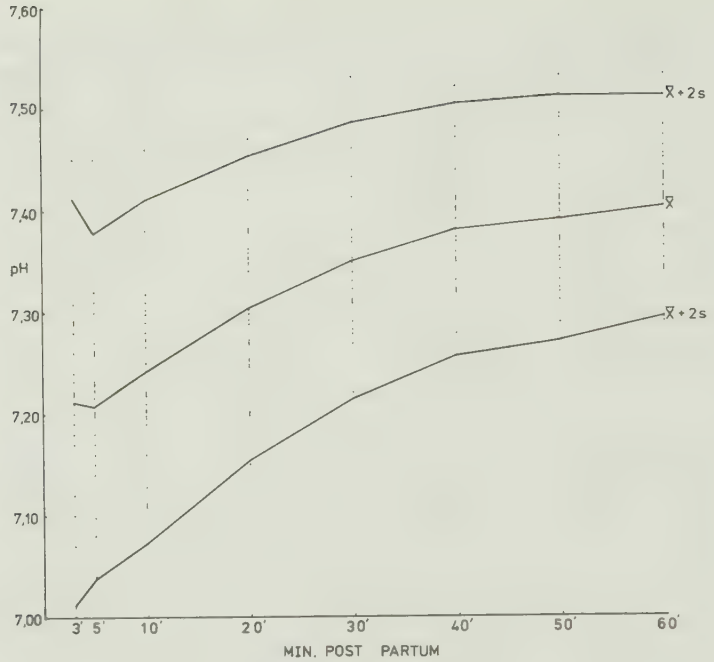

Fig. 5 : Valeurs individuelles représentées par les points du pH capillaire de 30 nouveau-nés normaux de la 3e à la 60e minute post-partum, moyenne $\bar{X}$ et double écart-type (2S).

La figure no 5 présente les valeurs du pH capillaire du même collectif de la 3e à la 60e minute post-natale avec la moyenne et le champ de variabilité de 95% ($\bar{X}\pm 2S$). Les valeurs moyennes avec le double écart type sont également présentées dans le tableau no 3.

Après une baisse dans les premières minutes de vie, nous pouvons noter une augmentation significative de la 5e à la 40e minute (0,17 UI), avec une augmentation moins marquée dans les 20 minutes qui suivent (0,02 UI). L'augmentation totale est de 0,19 UI.

Dans la figure no 6, les valeurs moyennes du pH avec leur double écart-type mesurées dans le sang capillaire du talon et dans le tissu sous-cutané du cuir chevelu sont superposées.

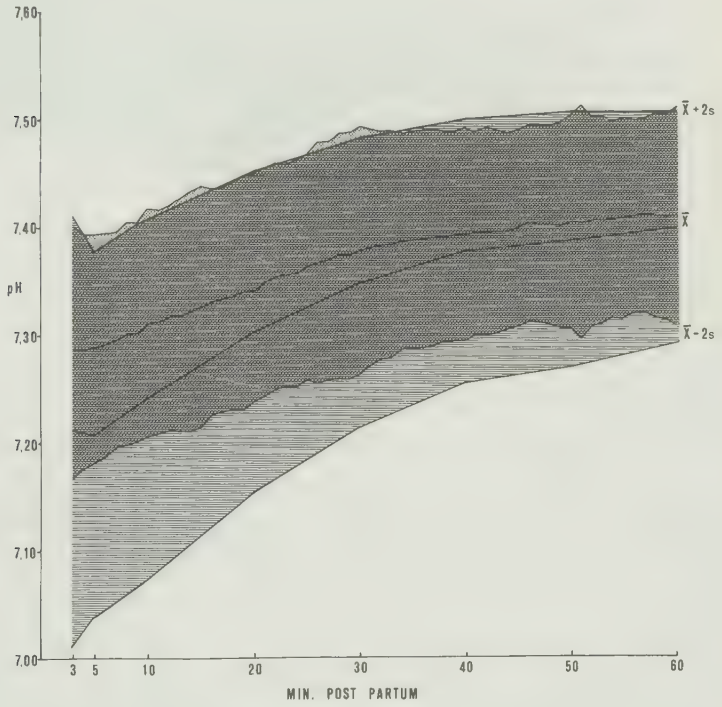

Fig. 6 : Comparaison des valeurs du pH sous-cutané (⁘) et du pH capillaire (≡) de la 3e à la 60e minute post-natale du collectif de 30 nouveau-nés normaux (moyenne $\bar{X}$ et double écart-type 2S).

La figure no 7 et le tableau no 4 comparent les résultats de mesure du pH sous-cutané de ce collectif avec le collectif de référence composé seulement de 10 nouveau-nés normaux.

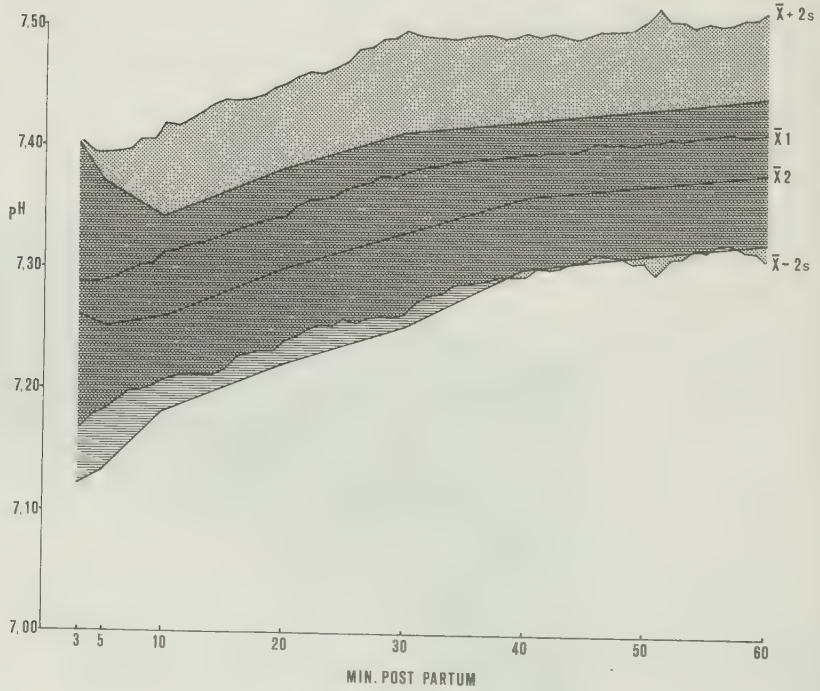

Fig. 7 : Comparaison des valeurs du pH sous-cutané de la 3e à la 60e minute post-natale des deux collectifs normaux (30 nouveau-nés $\bar{X}1$ (⁙) et 10 nouveau-nés $\bar{X}2$ (groupe de référence (≡)). Moyenne $\bar{X}$ et double écart-type 2S.

Minutes post-partum	Collectif normal No 1 (30 cas)		Collectif normal No 3 (10 cas)	
	$\bar{X}$ 2	2S	$\bar{X}$ 1	2S
3	7,28	0,06	7,26	0,07
5	7,29	0,05	7,25	0,06
10	7,31	0,05	7,26	0,04
20	7,34	0,05	7,30	0,04
30	7,38	0,06	7,33	0,04
40	7,39	0,05	7,36	0,03
50	7,41	0,05	7,37	0,03
60	7,41	0,05	7,38	0,03

Tabl. 4 : Comparaison des moyennes $\bar{X}$ et double écart-type du pH sous-cutané dans les deux collectifs normaux.

Ceci tend à démontrer la reproductibilité de la méthode dans des conditions diverses d'utilisation de la sonde à pH et à des époques différentes. Comme déjà mentionné, ce collectif normal se distingue du premier par le fait qu'on a considéré en plus les valeurs du pH du cordon ombilical et que les cas avec un pH artériel de moins de 7,14 ont été éliminés. Les valeurs moyennes dans l'artère et la veine ombilicales de ce collectif de référence sont de 7,23 et 7,33 (tableau 6). Selon Saling et Bretscher (9), les valeurs moyennes du pH actuel dans l'artère ombilicale d'un collectif normal de nouveau-nés vigoureux est de 7,27 avec un champ de variation de 95% ($\bar{X} \pm 2S$) 7,12 - 7,42. Les valeurs dans la veine ombilicale du même collectif sont de 7,33 ($\bar{X} \pm 2S$) 7,20 - 7,46.

Les valeurs moyennes du pH sous-cutané dans les deux collectifs examinés sont sensiblement identiques et varient au maximum de $\pm$ 0,05 UI pH. Même en ce qui concerne les champs de variation, il n'y a pas de différence significative.

Les résultats obtenus dans ces deux groupes de nouveau-nés concernant l'évolution du pH sous-cutané peuvent ainsi être confirmés sans hésitation en constatant que la nouvelle méthode de mesure du pH sous-cutané donne des valeurs fiables et reproductibles.

Le pH sous-cutané et capillaire chez les nouveau-nés présentant des troubles acido-basiques : le tableau no 1 représente le collectif pathologique de 16 nouveau-nés ne correspondant pas à la définition de normalité. Les cas particuliers ont été étudiés et publiés récemment (27).

La mesure du pH sous-cutané et du pH capillaire a été conduite de la même manière que dans les deux groupes normaux. Les données du pH capillaire et sous-cutané chez ces 16 nouveau-nés sont rassemblées dans le tableau no 5. La courbe moyenne du pH sous-cutané a été élaborée à partir des valeurs prises chaque minute d'enregistrement (voir figure 8) comparant cette dernière avec le collectif normal de 30 cas.

Min. post natale	pH moyen sous-cut.	pH moyen capill.	Différence des deux pH
3	7,16	7,09	+ 0,07
5	7,14	7,09	+ 0,05
10	7,12	7,13	- 0,01
20	7,17	7,19	- 0,02
30	7,22	7,25	- 0,03
40	7,26	7,29	- 0,03
50	7,29	7,31	- 0,02
60	7,31	7,33	- 0,02
3-60	7,21	7,21	- 0,00

Tabl. 5 : Nouveau-nés pathologiques : pH moyen du tissu sous-cutané et du sang capillaire.

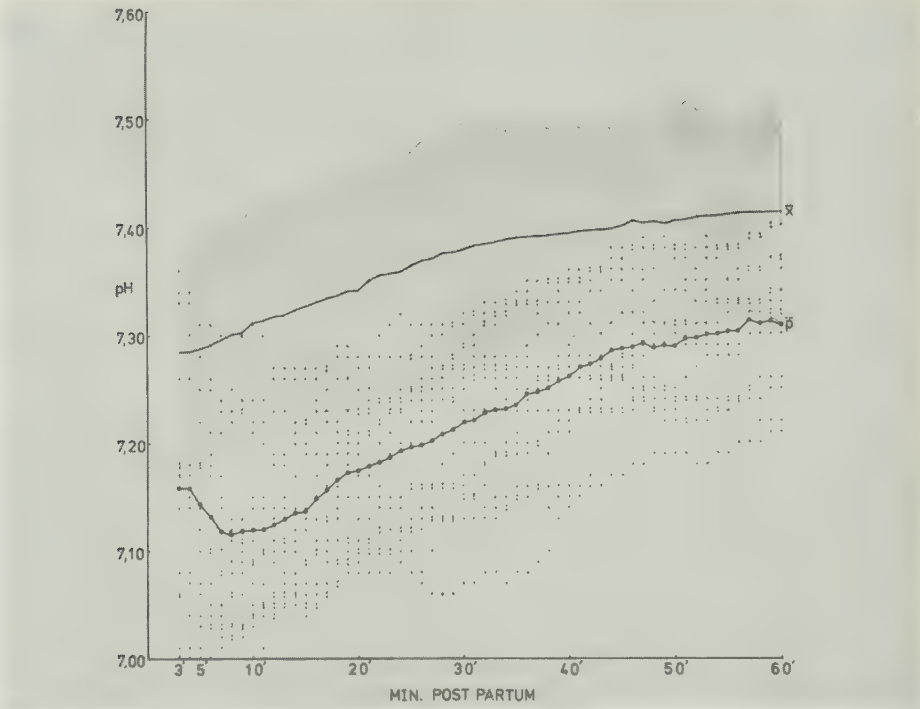

Fig. 8 : Valeurs du pH sous-cutané du groupe pathologique (16 nouveau-nés) (chaque point représente une valeur obtenue à une minute déterminée) et leur moyenne $\bar{p}$, comparées à la courbe du collectif normal de 30 nouveau-nés ($\bar{X}$ et 2SD : zone grise).

La grande majorité des valeurs du pH sous-cutané mesurées dans ce groupe se trouvent en-dehors de la norme : plus précisément 72% de toutes les valeurs mesurées se trouvent en-dessous du champ de variations normales. La comparaison de la courbe ainsi obtenue avec celle des valeurs moyennes dans le collectif normal de 30 nouveau-nés est significative. Ceci montre que des

déviations pathologiques cliniquement définies se reflètent fidèlement dans la mesure du pH sous-cutané. Par la détermination simultanée du Ph capillaire et du pH sous-cutané chez ces 16 nouveau-nés, on peut comparer la valeur des deux méthodes de mesure du pH.

Les valeurs du pH mesuré dans le sang capillaire du talon dans ce dernier collectif se trouve dans la partie inférieure du champ normal de variation et seul 23% des valeurs du pH sanguin se trouvent en-dessous de la limite inférieure de la normalité (figure 9).

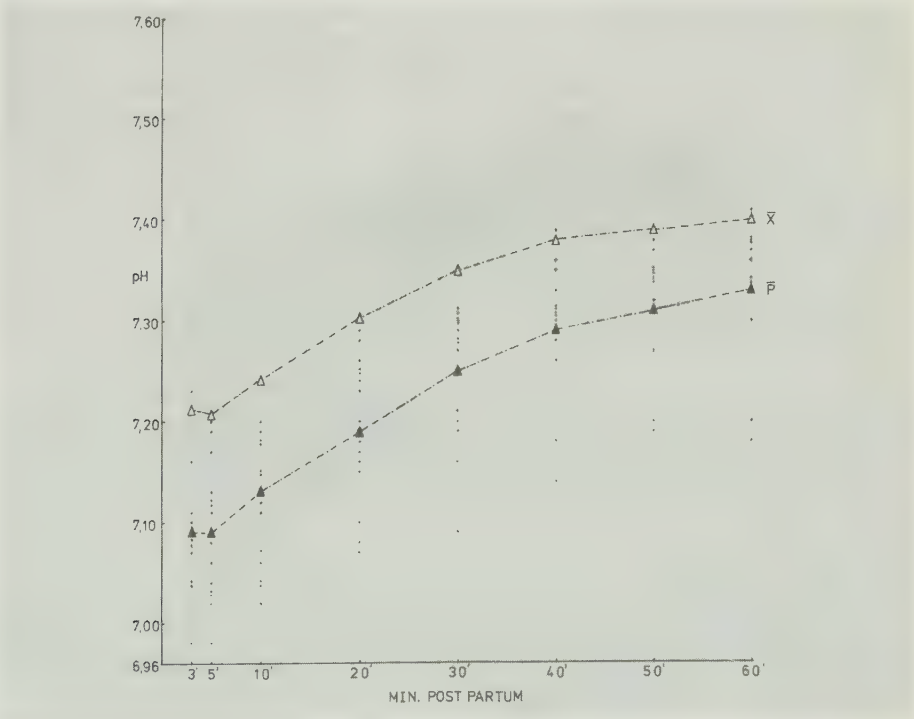

Fig. 9 : Valeurs du pH capillaire du talon obtenues dans le collectif pathologique de 16 nouveau-nés (chaque point représente une valeur obtenue à une minute déterminée) et leur moyenne ($\bar{p}$) comparées à la courbe du collectif normal de 30 nouveau-nés ($\bar{X}$ et double écart-type : zone grise).

La figure no 10 représente l'évolution simultanée du pH des deux collectifs dans les deux milieux. Les deux courbes supérieures donnent les valeurs moyennes dans le collectif normal, les deux inférieures représentent les valeurs moyennes du groupe ayant souffert de troubles pré- ou périnataux.

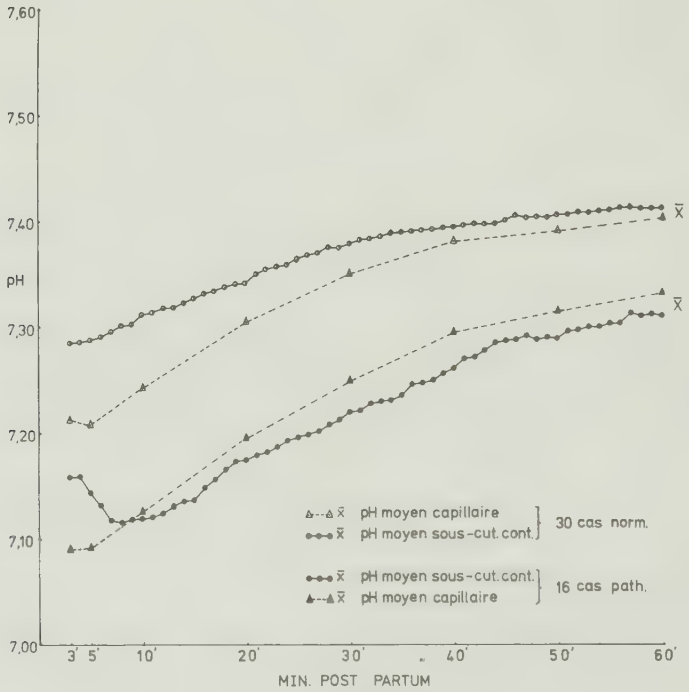

Fig. 10 : Valeurs moyennes du pH sous-cutané et du pH capillaire du collectif normal (30 cas) et du collectif pathologique (16 cas).

Le pH sous-cutané et les analyses des gaz sanguins chez les nouveau-nés du groupe no 3, dit "de référence".

Selon nos résultats obtenus, il est évident que les valeurs du pH capillaire ainsi que celui du tissu sous-cutané dans un état normal se superposent. Dans une situation spéciale, par exemple immédiatement après l'accouchement, nous constatons des différences significatives. Dans les expérimentations suivantes, nous voulons essayer d'expliquer les différences dans les deux milieux.

Dans le groupe no 3 "de référence", nous avons étudié le pH sous-cutané et le pH capillaire ainsi que les gaz sanguins (pO_2, pCO_2) et le BE. Nous avons examiné 10 nouveau-nés choisis comme déjà mentionné selon les critères de normalité définis auparavant.

L'évaluation discontinue du pH sanguin et de la pCO_2, pO_2 ainsi que du BE ont été calculés selon les valeurs obtenues dans les intervalles suivants : 3e, 5e, 10e, 15e, 20e, 25e, 30e, 40e, 50e et 60e minute post-partum. Ces valeurs sont représentées dans le tableau no 6.

Dans ce collectif de référence, nous avons calculé les moyennes du pH, de la pCO_2 et du BE dans le sang capillaire ainsi que du pH du tissu sous-cutané avec leur double écart-type.

Les courbes des paramètres mentionnés sont présentées dans les figures 11 à 15. Les moyennes de ces quatre paramètres sont présentées dans la figure 16 (tableau selon Siggaard-Andersen).

		Cordon ombilical		Min. Post Partum									
		Art.	Veine	3'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	40'	50'	60'
pH sous-cutané	$\bar{X}$			7.26	7,25	7,26	7,28	7,30	7,31	7,33	7,36	7,37	7,38
	SD			0,07	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
	$\bar{X}$+2SD			7,40	7,37	7,34	7,36	7,38	7,39	7,41	7,42	7,43	7,44
	$\bar{X}$-2SD			7,12	7,13	7,18	7,20	7,22	7,23	7,25	7,30	7,31	7,32
pH sanguin	$\bar{X}$	7,23	7,33	7,20	7,21	7,24	7,28	7,29	7,32	7,34	7,37	7,39	7,39
	SD	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05
	$\bar{X}$+2SD	7,354	7,433	7,293	7,297	7,320	7,347	7,374	7,413	7,424	7,478	7,515	7,482
	$\bar{X}$-2SD	7,102	7,221	7,113	7,121	7,160	7,203	7,214	7,225	7,252	7,254	7,259	7,294
BE/meq/L	$\bar{X}$	- 8,0	- 6,0	- 7,1	- 7,4	- 6,5	- 5,9	- 5,2	- 4,0	- 3,0	- 2,1	- 1,1	- 1,0
	SD	4,3	3,8	2,2	2,6	2,5	2,7	3,0	3,8	3,5	3,7	4,5	4,2
	$\bar{X}$+2SD	+ 0,6	+ 1,7	- 2,6	- 2,0	- 1,5	- 0,32	+ 0,9	+ 3,7	+ 4,0	+ 5,3	+ 7,9	+ 7,4
	$\bar{X}$-2SD	-16,6	-13,7	-11,6	-12,7	-11,5	-11,5	-11,3	-11,7	-10,0	- 9,5	-10,1	- 9,4
pCO_2/mm Hg	$\bar{X}$	48	37	58	56	52	47	45	44	43	41	40	40
	SD	6	6	8	8	9	7	9	9	7	9	9	9
	$\bar{X}$+2SD	59	50	74	72	69	60	62	61	56	58	58	58
	$\bar{X}$-2SD	37	25	42	39	35	33	28	26	29	23	22	21
pO_2/mm Hg	$\bar{X}$	12	24	25	36	40	42	41	44	43	43	43	45
	SD	5	6	10	11	6	7	7	6	7	7	5	7
	$\bar{X}$+2SD	23	36	44	58	53	56	55	56	57	58	54	59
	$\bar{X}$-2SD	2	11	5	13	28	28	27	32	29	29	33	32

Tabl. 6 : Valeurs du pH sous-cutané, pH sanguin, BE, pCO_2, pO_2 ($\bar{X}$±2SD) d'un groupe de 10 nouveau-nés nomraux (groupe no 3 de référence).

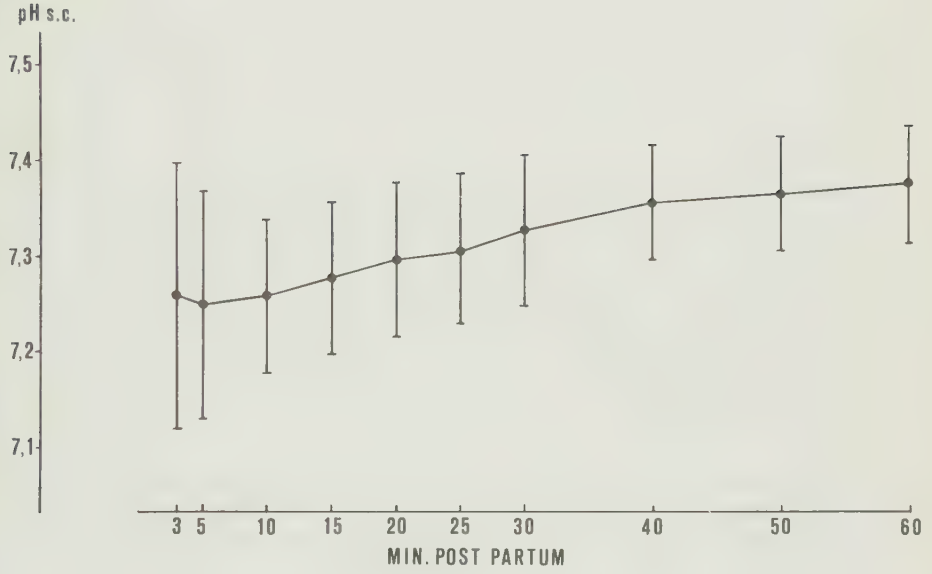

Fig. 11 : Evolution du pH sous-cutané de la 3e à la 60e minute post-natale du collectif normal (groupe de référence de 10 nouveau-nés). Moyenne et double écart-type ($\bar{X} \pm 2S$).

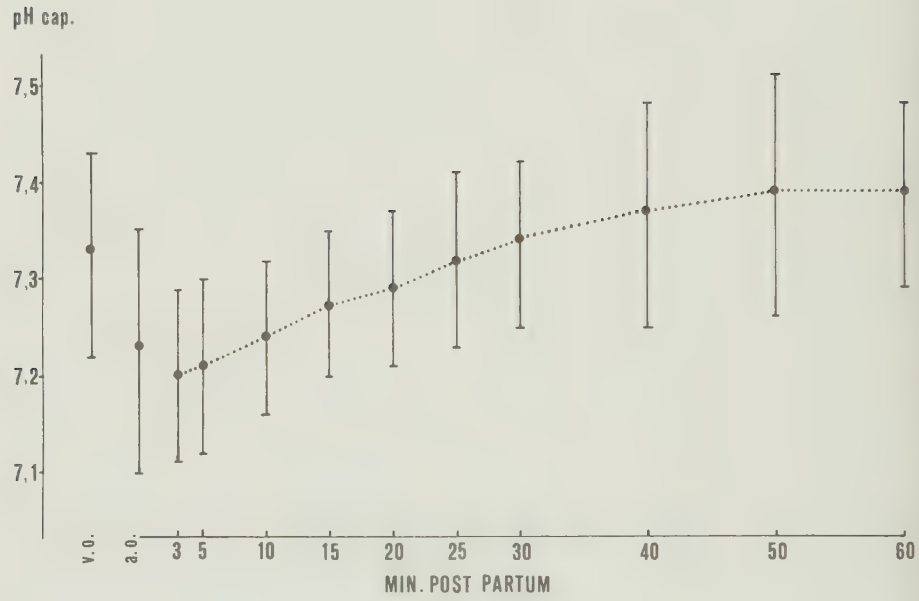

Fig. 12 : Evolution du pH capillaire du talon dans le collectif normal (10 nouveau-nés) avec les valeurs dans les vaisseaux ombilicaux. Moyenne et double écart-type ($\bar{X} \pm 2S$).

a.o. = artère ombilicale

v.o. = veine ombilicale

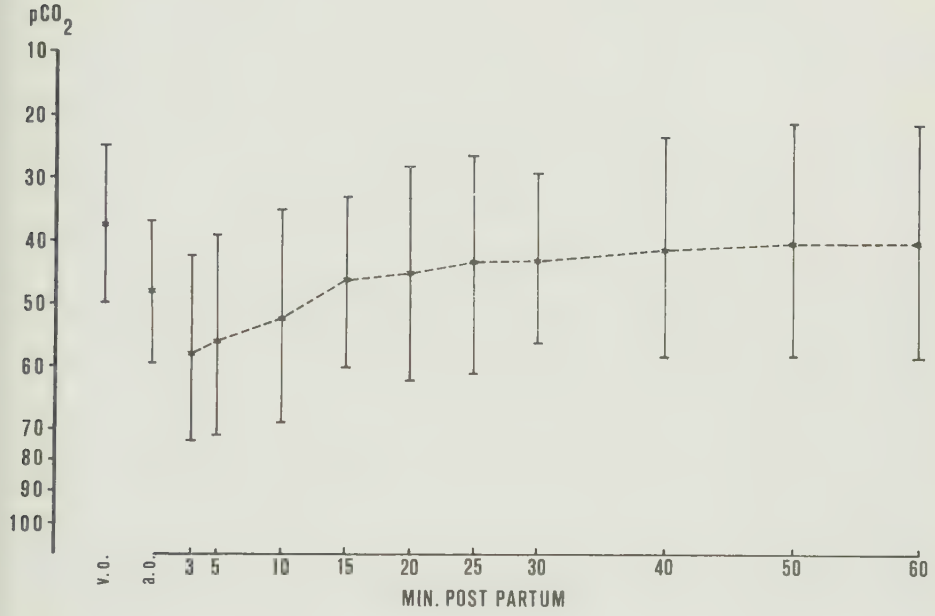

Fig. 13 : Evolution de la pCO_2 de la 3e à la 60e minute post-natale du collectif normal (10 nouveau-nés) avec les valeurs dans les vaisseaux ombilicaux. Moyenne et double écart type ($\bar{X} \pm 2S$).
a.o. = artère ombilicale
v.o. = veine ombilicale

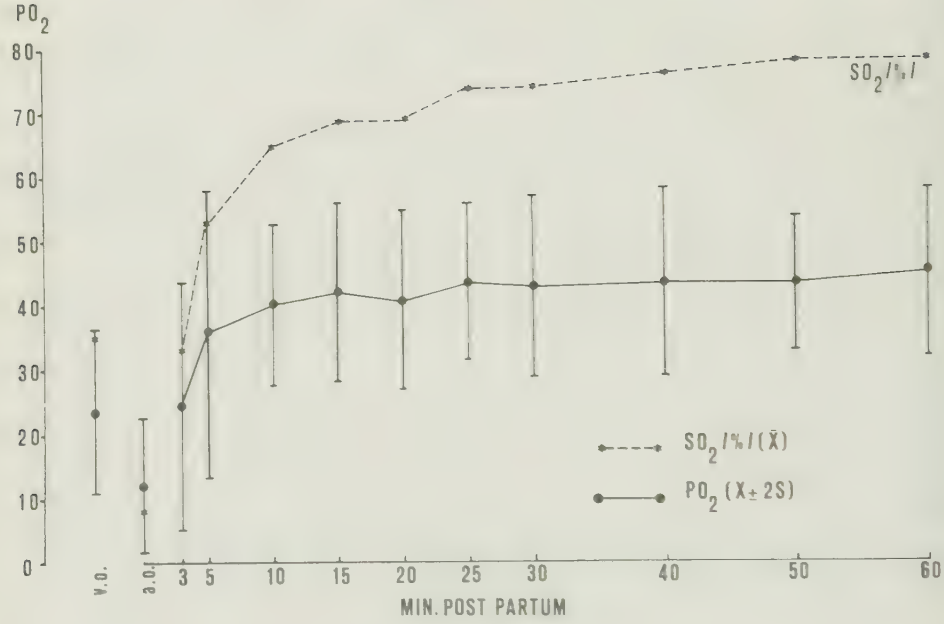

Fig. 14 : Evolution de la pO_2 et sO_2 de la 3e à la 60e minute post-natale du collectif normal (10 nouveau-nés) avec les valeurs dans les vaisseaux ombilicaux. Moyennes et double écart-type ($\bar{X} \pm 2S$).
a.o. = artère ombilicale
v.o. = veine ombilicale

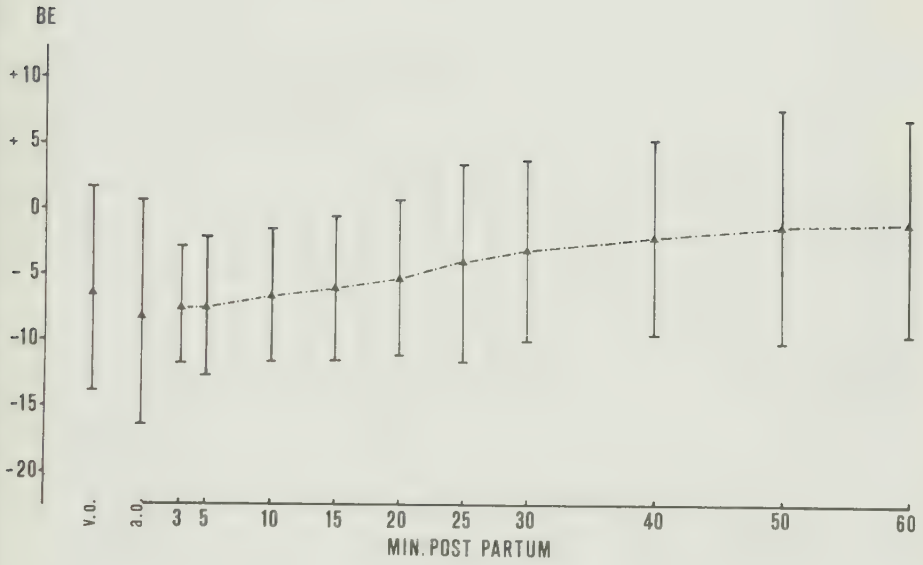

Fig. 15 : Evolution de BE (meq/l) de la 3e à la 60e minute post-natale avec les valeurs dans les vaisseaux ombilicaux dans le collectif normal de référence. Moyennes et double écart-type.
a.o. = artère ombilicale
v.o. = veine ombilicale

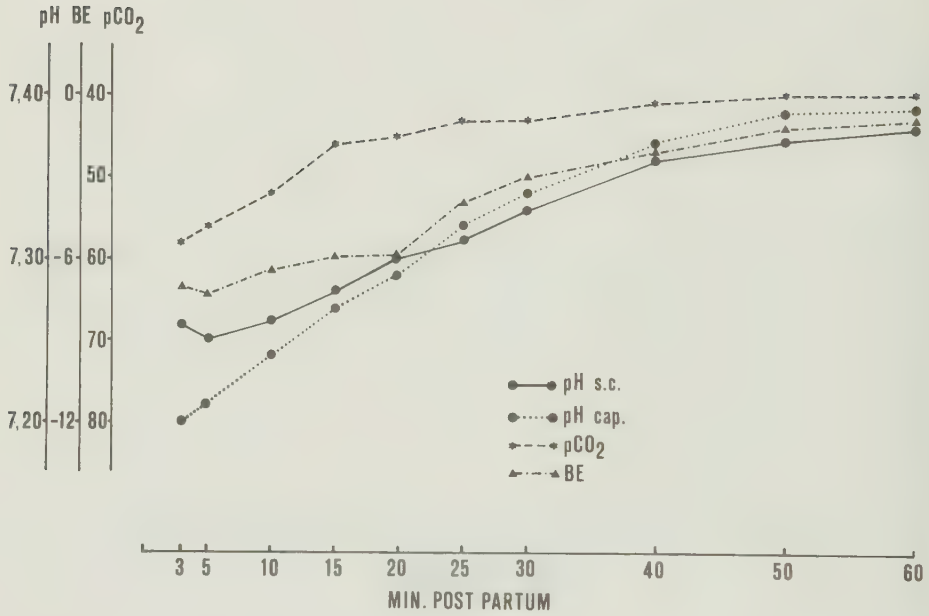

Fig. 16 : Evolution des moyennes du pH sous-cutané, du pH capillaire, de BE (meq/l) et de la pCO_2 (en mm Hg) dans le collectif normal (groupe de référence). Tableau selon Siggaard-Andersen.

De cette dernière figure, nous pouvons déduire les remarques suivantes : Il y a une relation très étroite entre la pCO_2 et le pH capillaire. Tandis que la valeur de la pCO_2 diminue, la valeur du pH capillaire augmente réciproquement, et ceci pratiquement en parallèle.

La composante respiratoire de l'acidose post-natale se reflète fidèlement dans le pH capillaire.

Les relations entre le "pH tissulaire sous-cutané" et la pCO_2 dans le sang capillaire sont moins étroites dans les premières 20 minutes post-partum. Cela est très vraisemblablement dû au fait que la composante respiratoire et la baisse consécutive du pH qui en réside dans le sang, se reflètent avec un retard dans le milieu du tissu sous-cutané.

Ensuite, il est intéressant de comparer les courbes du BE et du pH sous-cutané. Entre ces deux paramètres, il existe une parallèle; autrement dit, les variations du pH sous-cutané sont en étroite relation avec la "réserve" de base-tampons. La composante métabolique de l'acidose périnatale est probablement plus évidente dans le pH tissulaire ainsi que sa correction dans l'évolution post-natale.

Pour confirmer la marche de nos expériences, nous démontrons deux cas typiques avec leurs enregistrements originaux.

Dans la figure no 17, il s'agit dun nouveau-né normal, sans complications périnatales.

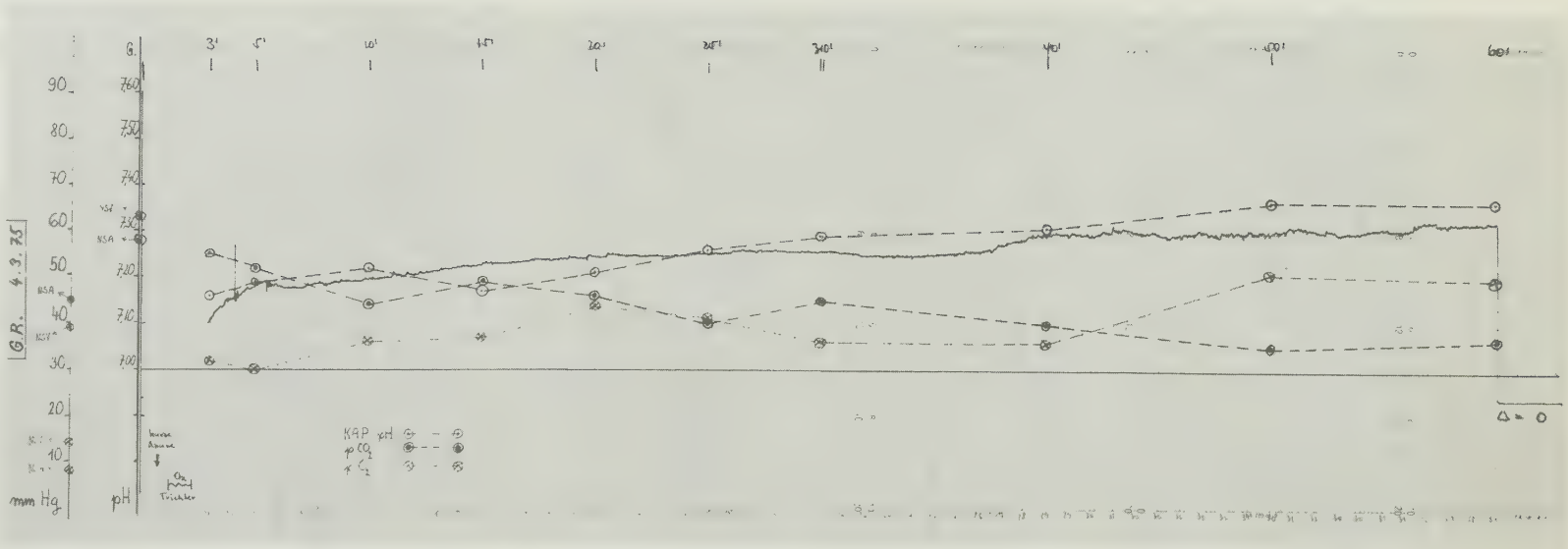

Fig. 17 : Enregistrement original du tissu sous-cutané dans la première heure post-natale chez le nouveau-né normal (ligne continue). Les lignes discontinues présentent les valeurs du pH capillaire, de la pO_2 et de la pCO_2. Accouchement spontané, Apgar 9/10/10. Vitesse d'enregistrement 10 mm/minute.

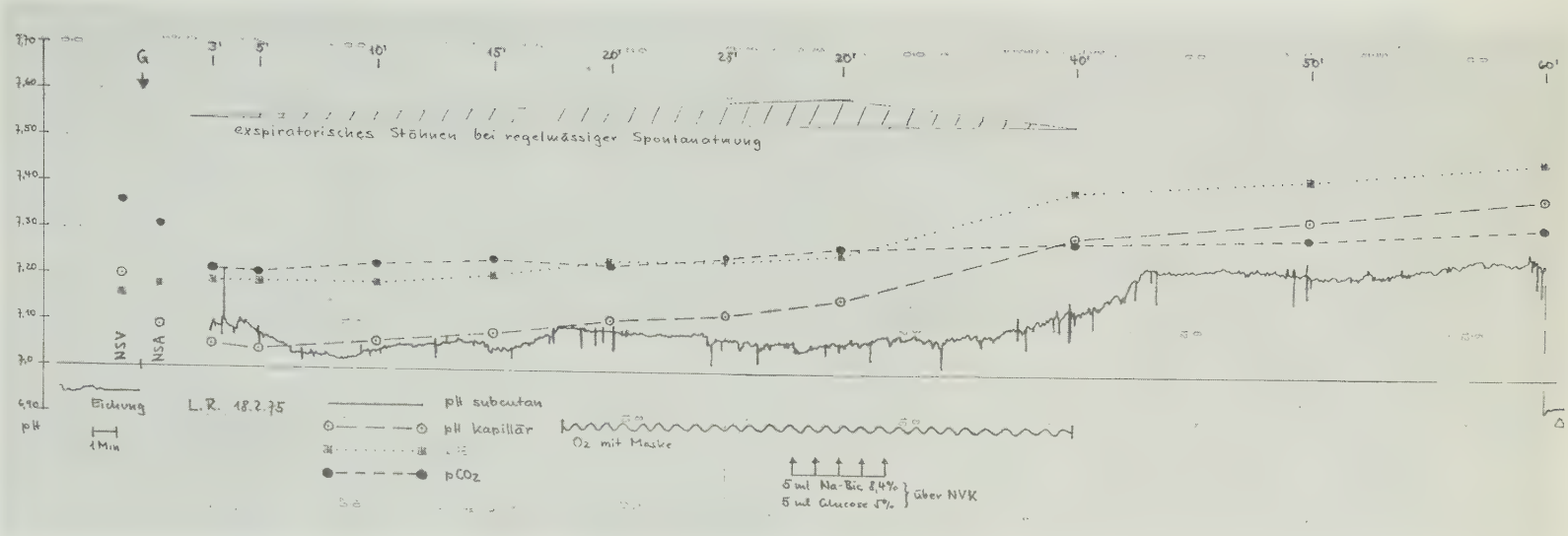

Fig. 18 : Enregistrement original du pH continu sous-cutané (ligne continue). Les lignes discontinues relèvent les valeurs du pH capillaire, de la pCO_2 (mm/Hg) et du BE (meq/l). NSA et NSV représentent les valeurs obtenues dans l'artère et la veine ombilicales.

Dans le second cas (fig. 18), il s'agit d'un nouveau-né présentant une acidose métabolique. Malgré l'oxygénothérapie jusqu'à la 30e minute, le nouveau-né a présenté des troubles respiratoires (gémissements, tirage). Cette symptomatologie s'est rapidement améliorée après la thérapie au Bicarbonate injecté entre la 28e et la 32e minute dans la veine ombilicale. La normalisation retardée de l'acidose du tissu sous-cutané pendant la phase d'adaptation post-natale est très marquée, ainsi que l'effet de la perfusion de NaBic sur le pH sous-cutané.

DISCUSSION

Les méthodes de surveillance continue du foetus et du nouveau-né ont été développées surtout au cours des dernières années. Ainsi, Bellé et Schönjahn (4) donnent les premiers résultats et discutent les difficultés des conditions de mesure de la pO_2 sub-partu. De même, Huch et coll. (23,24,25) ont présenté la méthode continue de mesure transcutanée de la pO_2 et ses aspects techniques en médecine périnatale.

Les premières mesures du pH à l'aide d'une électrode en verre chez l'animal ont été réalisées par Voegtlin en 1935 (41). En ce qui concerne la mesure continue du pH, celle-ci a surtout été réalisée dans la musculature dans le domaine de la pédiatrie et de la chirurgie. En pédiatrie, les travaux de Filler (16,17, 18) démontrent la possibilité du monitoring du pH musculaire comme indice de perfusion, d'oxygénation et de l'équilibre de l'acide-base chez l'enfant.

En ce qui concerne notre technique de mesure, on peut difficilement imaginer que, malgré la miniaturisation de l'électrode de Stamm-Möller, on ne traumatise pas le tissu sous-cutané au moment de l'introduction de l'électrode. En raison du traumatisme cellulaire inhérant à l'introduction de l'électrode, les valeurs du pH mesurées ne sont pas strictement extra-cellulaires mais comprennent une composante intra-cellulaire. Afin d'exprimer le caractère mixte de cette mesure, nous avons adopté le terme de pH tissulaire. L'acidose locale traumatique, provoquée par l'application de l'électrode, joue certainement un rôle peu important, comme le démontrent nos résultats. Un autre facteur dont dépend la mesure continue du pH tissulaire est certainement la perfusion locale du tissu. Le cuir chevelu du nouveau-né se prête particulièrement bien à de telles mesures puisque cette région est bien vascularisée par l'artère temporale superficielle, l'artère auriculaire postérieure, l'artère supra-orbitale, supra-trochléaire et par les branches occipitales de la carotide externe. La qualité du sang des régions citées ci-dessus correspond à celle du sang perfusant le cerveau. Des coupes histologiques faites à l'endroit d'introduction de l'électrode en verre dans le cuir chevelu au cours d'une opération neurochirurgicale chez l'adulte, ont démontré que le trajet de l'électrode dans le tissu environnant n'est accompagné d'aucune réaction inflammatoire après 3 heures d'enregistrement. Au niveau de la pointe de l'électrode dans le tissu sous-cutané, on a constaté une hémorragie fraîche. Ceci confirme notre hypothèse que la mesure du pH sous-cutané est une mesure de pH "mixte" à prédominance extra-cellulaire. Il est bien évident que le facteur vitesse de la réponse de l'électrode dans le tissu joue un certain rôle vu que nous étalonnons l'électrode dans des conditions bien déterminées et surtout dans un liquide homogène, pour mesurer ensuite dans un tissu hétérogène, comme c'est le cas dans le tissu sous-cutané (19).

L'évolution du pH tissulaire et capillaire du collectif normal de 30 nouveau-nés (fig. 8), est caractérisé par les particularités suivantes :

- 60 minutes après la naissance, les valeurs du pH dans les deux milieux se superposent.
- Les valeurs moyennes sont alors différentes de 0,01 UI pH seulement.
- La déviation standard est la même dans les deux milieux avec 0,05 UI pH.

Autrement dit, à la fin de la phase d'adaptation d'un nouveau-no normal, il n'y a pas de différence entre le pH tissulaire et le pH capillaire.

Par contre, immédiatement après la naissance, il y a une différence significative entre le pH tissulaire et le pH capillaire de 0,06 UI pH. En outre, à ce moment-là, l'écart-type du pH est plus grand dans le sang capillaire ($\pm$ 0,10 UI pH) que dans le tissu sous-cutané ($\pm$ 0,6 UI pH). A la naissance, il y a donc une discrépance entre le sang capillaire et le tissu sous-cutané. Il est alors intéressant de constater que le champ de variations du pH tissulaire ($\pm$ 0,06 UI pH) garde le même ordre de grandeur lors de l'enregistrement tandis que celui du pH capillaire se réduit de $\pm$ 0,10 UI pH immédiatement après la naissance à 0,05 UI pH à 60 minutes de vie.

En ce qui concerne le groupe de nouveau-nés pathologiques, nous pouvons faire les constatations suivantes :

- 60 minutes après la naissance, les valeurs de pH dans les deux milieux sont très peu différentes, soit de l'ordre de 0,02 UI pH.
- 3 minutes après la naissance, le pH tissulaire est supérieur au pH capillaire, alors que 7 minutes après la naissance,

ce dernier est inférieur au pH capillaire. Ceci se maintient par la suite.

On peut ainsi supposer que l'acidose dans le tissu sous-cutané se manifeste avec un retard de 6 minutes.

La correction de l'acidose se fait plus rapidement dans le sang capillaire que dans le tissu sous-cutané, pour autant que la fonction pulmonaire soit conservée intégralement. Ceci est probablement dû à l'élimination relativement plus rapide des métabolites acides volatiles au niveau du sang par l'intermédiaire du poumon, par rapport à l'élimination au ralenti des métabolites acides non-volatiles.

Mis à part les différences mentionnées, on peut globalement superposer l'évolution du pH dans les deux milieux et ceci également dans le collectif souffrant de troubles de l'équilibre acido-basique.

La valeur descriptive du pH tissulaire est tout aussi bonne que la détermination intermittente du pH capillaire et peut-être même meilleure par une définition plus exacte du champ de variations du pH tissulaire.

RESUME

Cette étude présente les aspects techniques de la mesure continue du pH tissulaire et examine la valeur, la fiabilité clinique ainsi que la possibilité de diagnostic des perturbations de l'équilibre acide-base sub partu et post-partum.

L'enregistrement continu du pH sous-cutané est une méthode valable pour la surveillance de l'état du nouveau-né. L'interprêtation des valeurs basses du pH sous-cutané doit être confrontée simultanément aux valeurs du pH et de la pCO_2 capillaires. Les valeurs basses du pH sous-cutané comparées à des valeurs normales du pH et de la pCO_2 sanguins parleraient pour une perfusion tissulaire diminuée. Par contre, si des valeurs anormales du pH sous-cutané sont associées à des valeurs pathologiques du pH sanguin et de la pCO_2, nous sommes en présence d'une acidose ou d'une alcalose d'origine respiratoire ou métabolique.

La mesure continue du pH sous-cutané est une méthode globale en comparaison avec celle du pH sanguin mesuré selon la méthode classique. Cette méthode offre cependant tous les avantages d'une surveillance continue in vivo.

BIBLIOGRAPHIE

1. Apgar V. :
The newborn (Apgar) scoring system : reflections and advice.
Pediatr. Clin. N. Amer. 13 (1966) 645-650.

2. Bartels H., Riegel K., Wenner J. und Wulf H. :
Perinatale Atmung.
Springer Verlag, Berlin-Heidelberg - New York 1972.

3. Beard R.W., Morris E.D., Clayton S.G. :
pH of fetal capillary blood as an indicator of the condition of the fetus.
J. Obstet. Gynaec. Brit. Cwlth. 74 (1967) 812-822.

4. Bellée H. und Schönjahn V. :
Verhalten des Sauerstoffpartialdruckes in der Kopfschwarte während der physiologischen Uteruskontraktion.
Zentralblatt für Gynäkologie Band 97 (1975) Heft 7, 413-418

5. Berg D., Kronenberger G. und Kubli F. :
Statistische Untersuchungen zur subpartalen Acidose des Feten.
Arch. Gynäk. 209 (1970) 34-50.

6. Berg D. und Dörrler J. :
Das Verhalten des Säure-Basen-Haushaltes am ersten Lebenstage unter besonderer Berücksichtigung der ersten Lebensminuten.
Geburtsh. u. Frauenheilk. 29 (1969) 980-994.

7. Bowe E.T., Beard R.W., Finster M., Poppers P.J., Adamson K., James L. :
Reliability of fetal blood sampling. Maternal fetal relationships.
Amer. J. Obstet. Gynec. May 15 (1970) 279-287.

8. Bretscher J. :
Fehler und Irrtum bei pH-Analysen von Mikroblutproben.
Gynaecologia Band 162 (1966) 369-379.

9. Bretscher J. and Saling E. :
pH values in the human fetus during labor.
Amer. J. Obstet. Gynec. 97 (1967) 906-911.

10. Bühler H. :
Grundlagen und Probleme der pH-Messung.
G-I-T Fachz. Labor 19. Jahrgang , Heft 7/8.

11. Campana A., Gurtner P., Janecek P., Stamm O. :
Intensiv-Ueberwachung durch kontinuierliche subkutane pH-Messung unter Narkosebedingung.
Jahresversammlung der Schweiz. Ges. f. Intensiv-Medizin, Basel, 7-8 November 1975.

12. Daniel S.S. and James L.S. :
Lactic acid in the neonatal period in man.
Annals New York Academy of Science, 119 (1965) 1142-1152.

13. Dole M., Giraut-Erler L. :
L'électrode en verre.
Paris 1952 (Dunod) p. 32-33.

14. Drage J.S., Kennedy C., Berendes H., Schwarz B.K. and Weiss W. :
The Apgar score as an index of infant morbidity.
Develop. Med. Child. Neurolog. 8 (1966) 141-148.

15. Drage J.S. and Berendes H. :
Apgar scores and outcome of the newborn.
Pediatr. Clin. N. Amer. 13 (1966) 635-643.

16. Filler R.M., Das J.B., Haase G.M. and Donahoe P.K. :
Muscle Surface pH as a Monitor of Tissue Perfusion and Acid-Base Status.
Journal of Pediatric Surgery, Vol. 6 (October 1971) 535-542.

17. Filler R.M., MD and Das J.B., MD. :
Muscle surface pH : a new parameter in the monitoring of the critically ill child.
Pediatrics, Vol. 47 (May 1971) 880-885.

18. Filler R.M., Das J.B., Espinosa H.M. :
Clinical experience with continuous muscle pH monitoring as an index of tissue perfusion and oxygenation and acid-base status.
Surgery, Number 1 (July 1972) 23-33.

19. Galster H. :
Neuere Entwicklung der elektrometrischen pH-Messung mit Glaselektroden.
G-I-T. Fachz. Lab. 14 Jg. Heft 4 (April 1970), Teil 1 und Teil 2.

20. Galster H. :
Grundlagen und Bedeutung von pH-Messungen in der medizinischen Diagnostik.
Druck : Brühlsche Universitätsdruckerei Giessen, 153-166.

21. Gandy G., Grann L., Cunningham N., Adamsons K.Jr. and James L.S. :
The validity of pH and pCO_2 measurements in capillary samples in sick and healthy newborn infants.
Pediatrics 34, (1964) 192-197.

22. Glinz W. :
pH-Messung in der Muskulatur.
Langenbecks Arch. Chir. 326 (1970) 306-322.
Springer Verlag 1970.

23. Huch R., Lübbers D.W. and Huch A. :
Reliability of transcutaneous monitoring of arterial pO_2 in newborn infants.
Archives of Disease in Childhood, 49 (1974) 213-218.

24. Huch R., Huch A., Lübbers D.W. :
Die kontinuierliche Kontrolle des arteriellen pO_2 und ihre Bedeutung für die Ueberwachung von Mutter und Kind.
Biomedizinische Technik, Band 19 (1974) Nr. 3, 87-91.

25. Huch A., Huch R. :
Klinische und physiologische Aspekte der transcutanen Sauerstoffdruck-Messung in der Perinatalmedizin.
Z. Geburtsh. Perinat. 179 (1975) 235-249.

26. James L.S. :
Acid-base change in the perinatal period.
In : Winters R.W. : The body fluids in pediatrics.
Little, Brown, Boston (1973) 185-206.

27. Janecek P., Vorburger J., Campana A., Stamm O. :
Kontinuierliche subkutane pH-Messung bei Neugeborenen mit abnormer Stoffwechselsituation.
Geburtsh. und Frauenheilk. 35 (1975) 511-517,
Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

28. Koch G. :
Lung function and acid-base balance in the newborn infant.
Acta paediat. scand. Suppl. 181 (1968) 1-45.

29. Muntwyler E. :
Elektrolyt-Stoffwechsel und Säure-Basen-Gleichgewicht.
(1973) De Gruyter, Berlin. Sammlung Göschen 7137.

30. Oehme F. :
Aktivität oder Konzentration - das ist hier die Frage ....
LABO. 4. Jahrg. Heft 10, Oktober 1973.

31. Oehme F. :
Vom pcH zum paH und pH - die Historie des Messens von H^+ - Ionen.
LABO. 22, September 1974.

32. Racinet Cl., Gousse P., Chabert P. et Malinas Y. :
Etude du pH sanguin néo-natal.
Rev. Française Gynéc. 65, 5 (1970) 285-303.

33. Roennefahrt K.W. :
Die elektrometrische pH-Messung.
Fachzeitschrift für das Laboratorium, Heft 2, Jahrg. 10
Febr. 1966.

34. Saling E.Z. :
Oxygen-conserving adaptation of the foetal circulation.
In : Apley J. : Modern Trends in Pediatrics - 3,
Butterworth, London (1970) 51-68.

35. Saling E. :
Das Kind im Bereich der Geburtshilfe.
Thieme, Stuttgart, 1966.

36. Stamm O., Latscha U., Janecek P., Campana A. :
Kont. subkutane pH-Messung am kindlichen Kopf sub-partu und post-partum.
Schweiz. Kongress für Geburtsh. und Gyn., Gyn. Rdsch. 14, 28, 1974.

37. Stamm O., Latscha U., Janecek P., Campana A. :
Kont. subkutane pH-Messung am kindlichen Kopf sub-partu und post-partum.
Z. Geburtsh. Perinat. 178 (1974) 368-376.

38. Stamm O., Latscha U., Janecek P., Campana A. :
"Registro continuo del pH tisular en perinatologia"
Acta Ginec. Vol. XXVI (1975) 165.

39. Stamm O., Latscha U., Janecek P., Campana A. :
Development of a special electrode for continuous subcut. pH measurement in the infants scalp.
Am. J. of Obst. Gyn., January 15 (1976), Volume 124, No 2, 193-195.

40. Thoulon J.M., Varnier Ch. :
L'équilibre acido-basique du nouveau-né à la naissance en fonction des facteurs obstétricaux.
Rev. Française gynécologie (1972) 67, 12, 715-729.

41. Voegtlin C., Kabler H., Fitch R.H. :
The estimation of the hydrogen ion concentration of tissues in living animals by means of the capillary glass electrode.
Nat. Inst. Hlth. Bull. 164, 15 (1935).